

# **TUTKIMUS BIOKOMPOSIITIN VALMISTUKSESTA: PLA –KUITU SEKÄ BIOHAJOAVAT MATERIAALIT**

Eveliina Juuri  
Materiaalitutkimus –kurssityö  
Muotoilun laitos  
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu  
Aalto-yliopisto  
3 / 2016

## TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa tutkitaan PLA –kuidusta ja biohajoavista kuitumateriaaleista sulatettuja komposiittirakenteita, niiden yhdistelmien komposiittirakenteen kestävyyttä sekä sopivia raaka-aineseoksia. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mitkä suhteet näissä materiaaliyhdistelmissä toimivat parhaiten ja saadaanko PLA –kuidun ominaisuuksia parannettua testattavalla kuiduilla vai heikentääkö lisäaineen ominaisuudet tai määrä PLA –kuidun kestävyyttä ja yhdistelmän rakennetta. Tutkimuksessa oleellista oli myös se, että kuinka saisin luotua biohajoavan komposiitin, joka olisi kestävä, mutta mahdollisimman nopeasti biohajoava komposiittilevy. Erilaisia biokomposiitteja on jo käytetty muun muassa autotuotannossa erilaisissa kojerakenteissa, mutta täyteaineena on useimmiten käytetty puuta. PLA:n ominaisuuksilla on myös laajat mahdollisuudet esimerkiksi lämpömuovauksessa ja näitä ominaisuuksia pystytään myös hyödyntämään komposiittirakenteissa.

Kaikki tutkimuksessa käytetyt raaka-aineet ovat täysin käsittelemättömiä, eikä tutkimuksessa ole käytetty muita raaka-aineita kuin puhdasta PLA -kuitua sekä täyteaineita.

Tutkimus suoritettiin empiirisenä tutkimuksena. Koepalat on valmistettu samanlaisissa olosuhteissa. Tutkimus on toteutettu Aalto-yliopiston Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun välineistöllä.

Loppupäätelminä selvisi, että PLA –kuitu soveltuu erittäin hyvin käytettäväksi luonnonkuitujen kanssa komposiittirakenteissa. Lämpöä voimakkaasti eristävät materiaalit eivät välttämättä sovellu PLA –kuidun kanssa yhteen, koska rakenteesta ei synny riittävän kantava ainakaan kevyemmässä prässäyksessä sulatuksen yhteydessä. Biohajoavat kuidut, jotka sekoittuvat hyvin PLA –kuidun kanssa, toimivat parhaiten komposiittirakenteessa täyteaineena.

## SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	4
2 Käytetyt materiaalit	5
2.1 PLA –kuitu	5
2.2 Täyteaineet	5
3 Biohajoavuus	5
3.1 Biokomposiitti	6
4 Tutkimus	6
4.1 Lähtökohdat	6
4.2 Materiaalien sekoitus	6
4.3 Sulatus	7
5 Tutkimustulokset	8
5.1 Kuvat koepaloista	9
5.2 Havainnot	10
5.3 Murtolujuustulokset	11
6 Loppupäätelmät	12
Lähdeluettelo	14

## 1 JOHDANTO

Biohajoavat materiaalit muotoilussa ovat aina kiinnostaneet minua paljon ja haluaisinkin hyödyntää näitä materiaaleja enemmän myös omissa töissäni. Halusin lähteä tutkimaan tarkemmin, minkälainen on tämänhetkinen tarjonta biohajoavissa materiaaleista ja teinkin paljon taustatutkimusta Internetin avustuksella, ja sain selville paljonkin materiaalien eettisyydestä ja toimivuudesta. PLA eli polylaktidi oli minulle kuitenkin entuudestaan täysin uusi materiaali ja siksi halusinkin selvittää kyseisestä materiaalista enemmän.

PLA eli polylaktidi on täysin biopohjainen ja 100% kompostoitava muovimateriaali, jota on tähän mennessä käytetty esimerkiksi 3D-tulostamiseen sekä pakkaustuotantoon. Polylaktidi ei siis tuhlaa maapallomme uusiutumattomia luonnonvaroja eikä se jätä jälkeensä muovivuoria.

Materiaalina PLA –kuitu kiinnosti minua ominaisuuksiensa takia paljon, joten halusin lähteä tutkimaan, miten PLA –kuitua saadaan sekoitettua erilaisiin luontoon hajoaviin materiaaleihin, siten että myös maatumisprosessi olisi nopeampi. Kiinnostavaa olisi tietää, miten kauan käytännössä tällaisten biokomposiittien hajoaminen luonnossa tai kierrätyksessä kestää, mutta tietoa tästä oli vaikeaa löytää. Hajoamiseen tietenkin on monta vaikuttavaa tekijää, mutta uskoisin, että biokomposiitteja luomalla maatumisprosessi saadaan paljon no-

peammin käynnistymään ja hajoaminen tapahtumaan. Tästä syystä halusin testata melko suuria määriä biohajoavia kuituja sulatettuna PLA –kuidun sekaan. Mahdollisesti jatkotutkimuksissa voidaan selvittää, miten maatumisprosessi näillä kappaleilla käynnistyy ja kuinka kauan itse hajoamiseen kuluu aikaa, koska tässä tutkimuksessa aikaraja ei riittänyt tämän aiheen kunnolliseen tutkimiseen.

Komposiittirakenteita PLA:n ja luonnonkuitujen yhdistelmistä on jo tehty jonkin verran, joten taustalla oli jo hyvä pohja tutkimukselle. Tärkeistä tutkimuksissa kuitenkin oli, että saan itse havainnoida materiaalien käyttäytymistä ja ennen kaikkea tutustua tähän kuitumateriaaliin, polylaktidiin.

Tässä tutkimuksen kirjallisessa osalla käsittelen aluksi aiheen taustoja ja myöhemmin kerron omasta tutkimuksestani ja sen tutkimustuloksista.

AVAINSANAT: PLA –kuitu, polylaktidi, biokomposiitti, luonnonkuidut



## 2 KÄYTETYT MATERIAALIT

### 2.1 PLA –KUITU

Polylactic acid eli polylaktidi, PLA, on osakiteinen biopolymeeri, jonka perusraaka-aineena on tärkkelys, selluloosa, soija tai sokeri. PLA kuuluu kestäville muoveihin, joiden lineaariset tai haarautuneet polymeeriketjut mahdollistavat muovin sulatuksen ja uudelleenmuotoilun. Luonnossa se kuitenkin hajoaa puhtaasti vedeksi, hiilidioksidiksi ja humusaineeksi.<sup>i</sup> PLA on siis biomuovi, joka valmistetaan uusiutuvista luonnonlähteistä. Biomuovien käytön lisääntymistä hidastaa kuitenkin materiaalin korkea hinta.<sup>ii</sup> PLA:n etuja ovat myös, että se on lämpömuovautuva ja sillä on korkea murtolujuus.

### 2.2. TÄYTEAINEET

Valitsin tutkimukseen kolme erilaista biohajoavaa täyteainetta<sup>iii</sup> sekoitettavaksi PLA -kuidun sekaan, koska pyrkimyksenä oli saada aikaan nopeammin biohajoavaa komposiittimateriaalia. Raaka-aineiksi pyrin valitsemaan hyvin kuidun sekaan sekoittuvia, kolmea eri tyyppistä materiaalia:

- sahanpuru (sekapuuta), noin 2mm kokoista purua
- kuituhamppu, leikattu noin 10-15mm pituiseksi
- ekovilla (puukuitu), noin 1mm kokoista silppua

Sahanpuru edustaa sivutuotteena syntynyttä jätettä puuteollisuudesta, kuituhamppu<sup>iv</sup> on taas uuteen suosioon noussut kasvikuitu, jota voidaan valmistaa myös Suomessa ja ekovilla on pienisäikeinen kuitumateriaali, joka on luontoon hajoava prosessoitu tuote.

## 3 BIOHAJOAVUUS

Biohajoavalla materiaalilla tarkoitetaan kaikkea, mikä hajoaa kohtuullisessa ajassa bakteerien entsyymitoiminnan tai kemiallisen reaktion ansiosta. Käytännössä tämä kattaa kaikki orgaaniset ainekset. Ympäristön mikro-organismeilla, jotka käyttävät ravinnokseen pääasiassa orgaanista jätettä, on tärkeä rooli biohajoamisessa.<sup>v</sup>

Biomuovit, kuten polylaktidi, hajoavat luontoon eri tahtia ja biohajoamiseen vaikuttavat merkittävästi eri tekijät, kuten lämpötila ja kosteus. Euroopan standardeissa (EN14046, joka on julkaistu myös standardina ISO 14855 "Biohajoavuus valvotuissa kompostointiolosuhteissa") biohajoavuus määritellään mittaamalla määrällisesti kompostoitavan materiaalin todellinen metabolinen muuntuminen hiilidioksidiksi. Hyväksymistaso on 90 %, joka tulee saavuttaa alle puolessa vuodessa. Yhdysvalloissa standardeissa hyväksymistaso on matalampi. Tämä biohajoavuus ominaisuus on yksi vaadittava kohta osana Euroopan unionin standardia EN13432, jonka mukaan määritellään onko materiaali kompostoitava.<sup>vi</sup> Biohajoavia materiaaleja käytetään jätteen vähentämiseksi mm. pakkausteollisuudessa. PLA on synteettinen biohajoava muovi, koska se hajoaa luonnossa.<sup>vii</sup>

### 3.1 BIOKOMPOSIITTI

Valmistettaessa komposiitteja on tavoitteena maksimoida kahden tai useamman eri materiaalin hyvät ominaisuudet ja minimoida huonot ominaisuudet niin, että tulos on enemmän kuin näiden yksittäisten osiensa summa. Biokomposiitit ovat komposiitteja, joista ainakin toinen ainesosa on biopohjainen.<sup>viii</sup> Biokomposiitteja saatetaan käyttää esimerkiksi ruiskuvalutuotannossa. Uusiutuvan kuidun osuus biokomposiitissa on tyypillisesti 20-50%.<sup>ix</sup>

## 4 TUTKIMUS

### 4.1 LÄHTÖKOHDAT

PLA -kuitu jota käytin tutkimukseen, oli katkokuitua joka vastasi ulkonäöltään ja koostumukseltaan pehmeää pumpulia. Kaikkia täyteainemateriaaleja sekoitettiin eri prosenttimäärät PLA -kuidun mas-

TAULUKKO 1. (PLA-kuidun ja täyteaineiden sekoitussuhteet)					
PLA-kuidun määrä vakio (30g), josta sekoiteainetta (%)	10%	15%	20%	25%	30%
SAHANPURU (n. 2mm)	3g	4,5g	6g	7,5g	9g
HAMPPUKUITU (n. 10-15mm)	3g	4,5g	6g	7,5g	9g
EKOVILLA (n. 1mm)	3g	4,5g	6g	7,5g	9g

saan suhteutettuna oheisen Taulukko 1 mukaisesti. PLA -kuidun määrä oli kaikissa testipaloissa vakio eli 30 grammaa. Täyteainetta voidaan lisätä muovin sekaan 1-80%, mutta alustavien testien perusteella koin tämän haarukan riittävän kattavaksi ja se myös mahdollistaa kestävyyseroavaisuuksien havaitsemisen.



KUVA 1. 100% PLA -katkokuitu

### 4.2 MATERIAALIEN SEKOITUS

Sekoitin käsin karstaamalla PLA -kuidun sekä lisättävät täyteaineet. Kunkin massan sekoitukseen käytettiin aikaa noin 5min, siten että kuidut menivät mahdollisimman tasaisesti sekaisin. Sulatusvaiheessa

oli lähes mahdotonta hallita massan tasaisuutta, mutta mahdollinen uudelleen sulatus voisi tehdä massasta tasalaatuisemman. Tätä vaihetta ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa suoritettu ja massojen mahdollinen epätasaisuus saattaa vaikuttaa lujuustestien tuloksiin ja saattaa väärentää niitä.



KUVA 2. PLA –kuidun ja sahanpuun sekoitus



KUVA 3. Sekoitettut materiaalit

KUVA 2:ssa näkyy punnitun PLA –kuidun sekä täyteaineen sekoittamisesta. Sekoitus tapahtui astiassa karstaamalla siten, että kaikki mitattu täyteaine sekoittui PLA –kuidun sekaan täysin. KUVA 3:ssa taas näkyy PLA –kuidusta ja ekovillasta valmiiksi sekoitettu testirivistö. Käytetyt materiaalit pysyivät kasassa melko hyvin, mutta tärkeää oli huolehtia, että kaikki täyteaine sekoittui PLA –kuituun.

#### 4.3 SULATUS

PLA -kuitu vaatii täysin sulaakseen n. 180°C (Tiina Härkäsalmi 21.3.2016) lämpötilan, mutta kyseinen lämpötila ei kuitenkaan ole niin tarkka, joten se voi huoletta olla  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Tämä tutkimus suoritettiin käyttämällä n. 200°C lämmitettyä uunia, kahta metallista levyä, leivinpaperia sekä 4kg punnusta prässäykseen. Uuni oli kiertoilmalla toimiva uuni, jotta lämpö jakautuisi tasaisesti sulatuksen aikana.

Kaikki koepalat sulatettiin uunin ylätasolla n. 20min ajan aina välillä prässäämällä uudestaan haluttuun muotoon. Koska kunnollista prässäysmuottia, joka olisi sulattanut PLA –kuidun tasaisesti paineessa, ei löytynyt, jouduin käyttämään ohuita n. 2mm paksuisia metallilevyjä sekä leivinpaperia prässäykseen. Tästä johtuen hankala kuiturakenne oli mahdotonta saada tasaisesti prässäykseen, mikä aiheutti taas sen, että koepaloja jouduttiin muovaamaan ja prässäämään jokaisen koepalan kohdalla noin 3 kertaa. Tämä saattaa aiheuttaa myös epätarkkuutta tutkimustuloksiin. KUVA 4:ssä näkyy ensin käytetty prässäysmuotti, joka kuitenkin osoittautui liian paksuksi ja lämpöä epätasaisesti eristäväksi. Tätä muottia ei käytetty koepalojen prässäämiseen.

KUVA 5:ssä on ensimmäisen prässäyksen tulos sekä kuva aluksi testatusta prässäysmuotista, joka ei kuitenkaan sallinut täydellistä sulaamista PLA –kuidulle, ja tästä syystä jouduin siirtymään kevyempään prässäystekniikkaan.

Tutkimuksessa huomasin, että PLA –kuidun on saatava lämpö mahdollisimman lähelle sulaakseen, koska paksussa prässimuotissa kuitu ei lähtenyt sulamaan riittävästi eikä tasaisesti. On myös hyvä, että lämpö pääsee kiertämään kauttaaltaan sulatettavan kappaleen, jotta lämpö jakautuu tasaisesti eikä sulamattomia kuituja jää palan sisään. Osa koepaloista sisälsi suurissa prosenttimäärissä jo niin paljon lämpöä eristävää materiaalia, että PLA –kuitu saattoi helposti jäädä näinkin ohuissa kappaleissa sisältä sulamattomaksi kuituharsoksi.

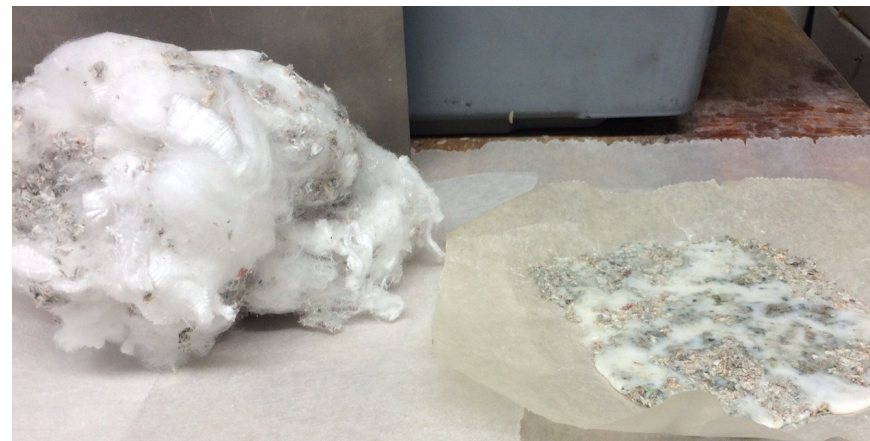


KUVA 4. Epätoimiva prässimuotti



KUVA 5. Ensimmäinen prässäys

Kuvassa nro 6 näkyy kokoero sulamattoman ja sulatetun koepalan välillä. Kuiturakenne PLA –kuidulla on siis todella kuohkea ja tästä syystä voimakas prässäys on tarpeen.



KUVA 6. Kokoero sulattamattoman ja sulatetun koepalan välillä

Tutkimuksen kannalta täsmällisimmät tulokset olisivat varmasti tulleet paremmin, mikäli käytössä olisi ollut yli 180°C nouseva prässäyskone sekä kunnollinen muottisysteemi koepalojen täsmälliseen muovaukseen, jotta koepalat olisi saatu sulatettua yhdellä prässäyskerralla tasaisiksi levyiksi yhtäläisellä paineella.

## 5 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimustulokset olivat siinä mielessä yllättäviä, kuinka kestäviä komposiittirakenteita näinkin kevyellä prässäyksellä ja sulatuksella saatiin aikaan ja kuinka lujaa materiaalia PLA on jo itsessään. Lämmitettynä ja sulaneena PLA -kuitu oli kuitenkin helposti muovattavaa ja kiinteää massaa. Tutkimustulokset olivat osittain ennalta arvattavia,



mutta esimerkiksi kuituhampun ja PLA –kuidun sulatettu komposiitti-levy yllätti minut kestävyydellään.

### 5.1 KUVAT KOEPALOISTA

Kuvat koepaloista sulatuksen ja prässäyksen jälkeen leikkaamattomina sekä havainne kuva täyteaineesta kyseisten koepalojen seassa.



**KUVA 7.** PLA (30g) +  
sahanpuru



**KUVA 8.** PLA (30g) +  
hamppukuitu



**KUVA 9.** PLA (30g) +  
ekovilla

## 5.2 HAVAINNOT

Koepaloista voidaan havainnoida jo paljon silmämääräisesti ja käsin testaamalla. Jo koepalojen tekovaiheessa saattoi huomata paljon itse materiaaleista ja niiden yhdistelmistä. Ensimmäiset huomiot koepaloista olivat, että kun täyteainetta oli jo 20 prosenttia, muuttui präsääminen haastavammaksi ja koepalat jäivät helposti paksuiksi, eikä esimerkiksi 30% täyteainetta sisältävästä palasta tullut riittävän tiivistä, jotta sitä voisi käyttää esimerkiksi kantavissa kalusteissa.

Koepalasarjaa, jotka olivat toteutettu sahanpurua ja hammppukuitua käyttäen, olivat silmämääräisesti jo huomattavasti kestävämpiä kuin koepalat, joissa testattiin ekovillaa. Ekovillaa sisältävät koepalat saattoivat rapista ja rakenne tuntui hauraalta. KUVA 10:ssä ja TAULUKKO 2:ssa on havainnollistettu koepalojen paksuuseroja.



KUVA 10. Sahattujen koepalojen paksuuserot

TAULUKKO 2. Koepalojen paksuus (PLA + täyteaine, kovetettuna) mm					
%-m	10	15	20	25	30
Ekovilla	4	5	5,5	5,5	15
Sahanpuru	4	3	5	4	10
Hamppukuitu	4,5	5	12	5	14

Koepalojen rakenteista löytyi myös sahaamisen jälkeen sisäpuolelta selvemmin sulamatonta PLA -kuitua, mikä ei päällepäin näkynyt muuta kuin kokonaisrakenteen hienoisena pehmeytinä. Täyteaineen määrällä oli havaittavasti vaikutus PLA –kuidun sulamiselle. KUVA 11 näyttää ekovillakoepalan sisältä paljastuneen sulamattomuuden.



KUVA 11. PLA + ekovilla (30%) sahattu koepala

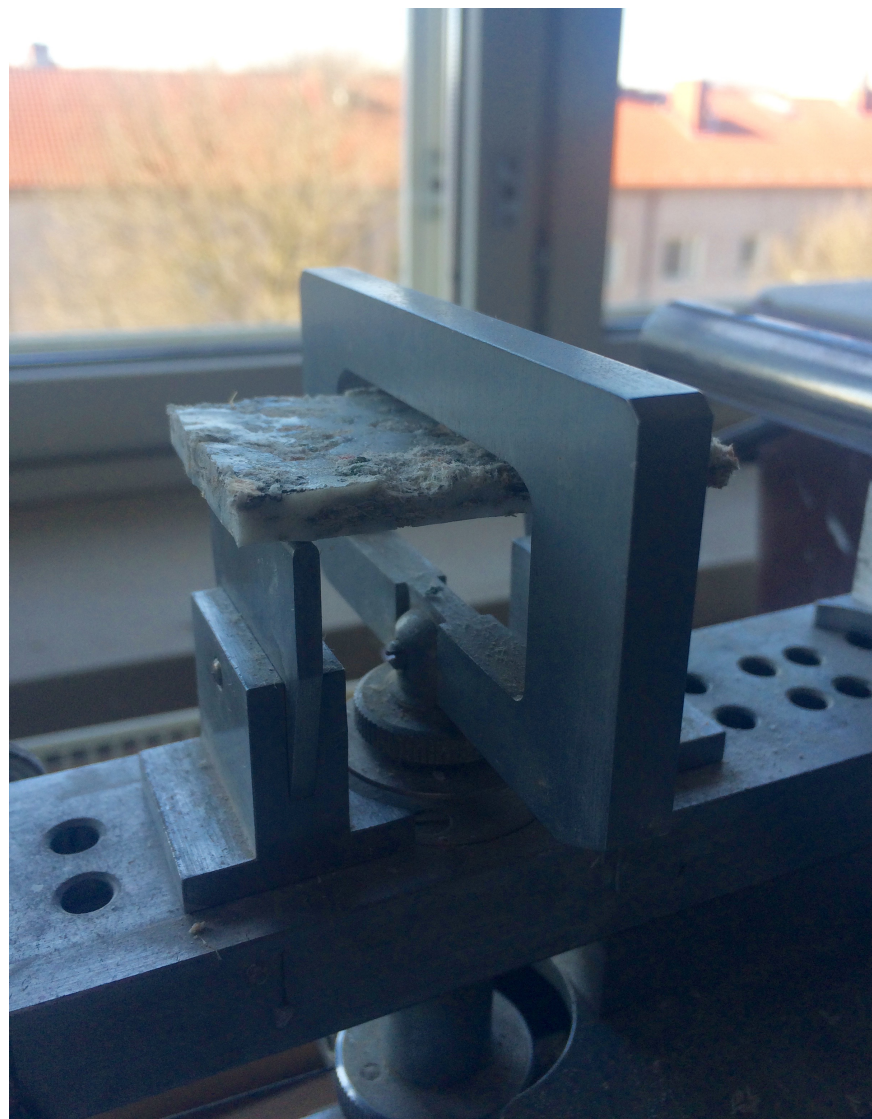


Mitä korkeampiin täyteaine prosentteihin noustiin, sitä enemmän koepaloissa oli havaittavissa tätä sulamattomuutta, mutta näistä koepaloista sahanpuru-paloissa sulamatonta PLA- kuitua oli vähemmän kuin ekovillassa ja hammppukuidussa.

### 5.3 MURTOLUJUUSTULOKSET

Murtolujuustestit tehtiin koepaloille mittaamalla kolmipistetaivutuksen avulla koepalaan kohdistuvaa pistevoimaa. Käytössäni oli ainoastaan 24000g painoon nouseva murtolujuusmittauslaite, joten suurimmalle osalle näistä paloista ei löydetty varsinaista murtumispistettä, mutta esimerkiksi ekovillan ja PLA:n yhdistelmistä löydettiin murtumisen avulla murtumispisteitä. PLA yhdessä täyteaineiden kanssa oli sen verran kestävä, että ainoastaan pientä taipumista voitiin havaita koepaloista, joissa oli käytetty täyteaineena sahanpurua tai hammppukuitua.

Testi suoritettiin vanhalla mittauslaitteella ja pistevoima ei näitä kokeista varten noussut täysin halutulle tasolle. Testeistä kuitenkin saatuun jo suuntaa antavia viitteitä siitä, miten kyseinen biokomposiitti kesti painoa. Näin alustavaksi tulokseksi TAULUKKO 3:n perusteellakin selvisi, että PLA –kuidun ja ekovillan yhdistelmä komposiittilevyssä ei ole kovinkaan kestävä. Ensimmäiset murtumispisteet löytyivät jo alle 7kg kohdalla 5mm paksuisessa levyssä.



KUVA 12. Murtolujuuslaite, jossa testissä ekovilla koepala

TAULUKKO 3. Koepalojen murtolujuustesti (paino ilmoitettu grammoina) E= ekovilla, S= sahanpuru, H= hamppukuitu					
Täyte- aine	10%	15%	20%	25%	30%
<b>E</b>	>24000g	6600g	2600g	8800g	3200g (murtui)
<b>S</b>	>24000g (ei taipu- mista)	>24000g (taipumis- ta 1300g kohdalla)	>24000g (taipumis- ta 1400g kohdalla)	>24000g (taipumis- ta vain vähän)	>24000g (taipumis- ta vain vähän)
<b>H</b>	>24000g (ei taipu- mista)	>24000g (ei taipu- mista)	10000g (paksuus)	>24000g (ei taipu- mista)	9500g

Sahanpurua ja hamppukuitua sisältävissä koepaloissa (3-10mm paksuus) oli havaittavissa pientä taipumista 13kg kohdalla, mutta murtumispiste ei jäänyt alle 24 kilogramman. TAULUKKO 3:n perusteella voidaan päätellä, että PLA:n ja sahanpurun yhdistelmä oli kaikista koepaloista kestävin, eikä tällä mitta-asteikolla murtumispistettä löydetty mihinkään testipalaan.

Vaikka koepaloissa olikin prässäysmuotin puutteen vuoksi paksuuseroja, jotka saattavat vaikuttaa murtolujuustuloksiin, osoitti mitaus kuitenkin jo biohajoavien materiaalien toimivuuden ja täyteaineiden ominaisuuksien tuomat ongelmat, kuten ekovillan lämmön eristävyys ja tätä kautta sulamattomuus ja heikompi rakenne komposiitissa.

## 6 LOPPUPÄÄTEMÄT

Koepaloista tehtyjen huomioiden avulla ja lujuustestien tuloksista voidaan päätellä, että PLA sopii mainiosti sekoitettavaksi biohajoavien materiaalien kanssa, mutta erityisesti pitkäkuituisten luonnonkuitujen kanssa, jotka ovat jo itsessään kiinteitä materiaaleja. Lämpöä eristävät kuidut ja suuret määrät täyteainetta saattavat aiheuttaa PLA –kuidun sulamattomuutta varsinkin kevyemmässä prässäyksessä, juurikin tämän lämmöneristävyyden takia. Tässä tutkimuksessa ekovilla oli hyvä esimerkki siitä, kuinka lämpöä eristävällä kuidulla voi olla heikentävä vaikutus PLA:n lujuuteen, koska kuitu ei pääse kunnolla sitoutumaan täyteaineen ympärille ja väliin jää runsaasti ilmaa ainakin näin kevyessä prässäyksessä.

Tehdyistä biokomposiittikoepaloista erityisesti hamppukuidun ja PLA:n yhdistelmä toimivat yhdessä myös esteettisesti. Komposiittilevy oli kaunis myös läpikuultavuutensa ansiosta, joten tätä materiaalia olisi mielenkiintoista myös hyödyntää esimerkiksi valaisimissa. Lämpömuovautuvuus luo myöskin rajattomia mahdollisuuksia komposiittimateriaalin hyödyntämiseen.

Tutkimuksessa selvisi, että täyteaineen lisättävällä prosenttimäärällä oli vaikutusta lopputulokseen ja se näkyy myös tehdyistä murtolujuustesteistä. Suuria määriä täyteainetta lisättäessä tulee olla voimakas puristusvoima, missä lämpö pääsee kohdakkain puristettavan materiaalin kanssa. Tässä kohtaa siis sähköinen lämpöprässi toimisi mainiosti. Lämpöprässi mahdollistaisi tasaisten puristusvoiman ja sulatuksen, mikä taas edesauttaa tasaista tulosta. Jatkotutkimuksissa olisi hienoa tutkia biokomposiittien halkeamispisteitä ja kestävyyttä.



Myös biohajoavuuden tutkiminen näiden materiaalien ja miksei myös muidenkin biohajoavien aineiden välillä toisi varmasti arvokasta tietoa muotoilun ja materiaalien kierrätyksen pariin.

Itse henkilökohtaisesti sain arvokasta tietoa omaa muotoilu-uraani silmällä pitäen ja tutkimus kokonaisuudessaan innosti tutkimaan enemmän biohajoavia materiaaleja ja komposiittirakenteita. Aion ehdottomasti jatkossa hyödyntää saamiani tuloksia ja mahdollisesti myös suunnitella niiden pohjalta tuotteita, jossa kyseiset materiaalit pääsisivät oikeuksiinsa.

## LÄHDELUETTELO

---

<sup>i</sup> Laura Kinnunen, Opinnäytetyö (AMK) 2013, Biopohjaisten täyteaineiden yhteensopivuus polylaktidin kanssa. Luettu: 13.3.2016

<sup>ii</sup> TAVANI, Biohajoavat. Luettu: 20.3.2016  
<http://www.tavani.fi/index.php/erikoismuovit/biohajoavat-pla>

<sup>iii</sup> Muovimuotoilu. Luettu: 20.3.2016  
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/158/222/>

<sup>iv</sup> Kuituhamppu. Luettu: 21.3.2013  
<http://www.hemprefine.fi/projects/kuituhamppu-lyhyesti>

<sup>v</sup> Biohajoaminen. Luettu: 20.3.2016  
<https://biobagworld.com/fi/ymparisto/biohajoava-ja-kompostoitava/>

<sup>vi</sup> Biohajoavuus, standardit. Luettu: 30.3.2016  
<http://biobag.bonsait.fi/standardit>

<sup>vii</sup> Biohajoavuus. Luettu: 20.3.2016  
<http://www.muoviteollisuus.fi/fin/?keyword=%22Biohajoava%22>

<sup>viii</sup> Biokomposiitti. Luettu: 27.3.2016  
[https://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/PMA35\\_StefanFors\\_diat.pdf](https://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/PMA35_StefanFors_diat.pdf)

<sup>ix</sup> Uusiutuvan kuidun osuus. Luettu: 27.3.2013  
[https://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/PMA35\\_Stefan-Fors\\_teksti.pdf](https://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/PMA35_Stefan-Fors_teksti.pdf)

KUVAT: Eveliina Juuri, 2016

TAULUKOT: Eveliina Juuri, 2016